Die Monde des Jupiter

Autor(en): **Gerber, P.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **35 (1977)**

Heft 161

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-899411

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Uranus, sein neu entdecktes Ringsystem und seinen Mond Miranda, unter Umständen sogar Neptun während nahen Vorbeiflügen erforschen. Ferner sollen noch weitere Monde dieser Planeten von den Instrumenten erfasst werden.

Alle astronomisch interessierten Kreise können nur hoffen, dass dieses gigantische Raumfahrtvorhaben vom Start im Sommer 1977 bis gegen das Ende der Achtziger Jahre in allen Teilen erfolgreich verlaufen wird. In diesem Falle würde es der Weltraumtechnik gelingen, unsere astronomischen Erkenntnisse über das äussere Sonnensystem wesentlich zu erweitern.

Literatur:
Mariner Jupiter/Saturn 1977 Mission, Opportunities for Participation in Space Flight Investigations, NASA Washington, Memo Change 45, NHB 8030.1 A, 14. April 1972.
Mc Kinley E. L. und Van Allen R. E., Mariner Jupiter/Saturn 1977 Navigation Strategy, Journal of Spacecraft and Rockets, Vol. 13, No. 8, August 1976, S. 494 ff.
JPL Fact Sheet Voyager Jupiter-Saturn (No. 819-4/28/77), Jet Propulsion Laboratory, Pasadena.
Lenorovitz Jeffrey M., Voyagers set for Planet encounters, Aviation Week & Space Technology, Vol. 107, No. 1, 4. Juli 1977, S. 65 ff.

Adresse des Verfassers:
Lic. oec. Otto Walthert, Landesgruppenleiter Schweiz der Hermann-Oberth-Gesellschaft e.V., Adligenstrasse 1, CH-6020 Emmenbrücke.

Die Monde des Jupiter

Offenbar herrschen im Sonnensystem ähnliche Gesetze wie auf unserer Erde: Die Mächtigsten scharen auch die grösste Anzahl Trabanten um sich. So besitzt der massenreichste und grösste Planet unseres Sonnensystems die meisten Monde.

Bekanntlich sind die Monde anderer Planeten unseres Sonnensystems relativ lichtschwache, von blossem Auge nicht sichtbare Objekte. Die Entdeckungsgeschichte der hellsten unter ihnen, der Jupiter-Monde, konnte somit erst unmittelbar nach der Erfindung des Fernrohres einsetzen. So konnte Galileo Galilei bereits 1610 in seinem berühmten Werk «Sidereus Nuncius» die Entdeckung von vier Jupitertrabanten mitteilen. Diese epochale Entdeckung wurde zu einer der wesentlichsten Stützen des kopernikanischen Weltsystems. Galilei führte in der Zeit vom 7. Januar bis zum 2. März 1610 insgesamt 65 Jupiterbeobachtungen durch. Aus diesen ersten Beobachtungen konnte er folgern, dass die neuentdeckten Monde auf vier verschiedenen Bahnen mit Umlaufszeiten zwischen zwei Tagen und einem halben Monat um den Planeten Jupiter kreisen. Erst drei Jahrhunderte nach dieser galileischen Entdeckung des Miniatur-Sonnensystems um Jupiter wurde ein weiterer Jupitertrabant aufgefunden. Anlässlich einer gezielten Mondsuche entdeckte Barnard im Jahre 1892 am Lick-Observatorium den fünften Jupiterbegleiter. Mit demselben Instrument gelang Perrine in den Jahren 1904 und 1905 die Entdeckung des sechsten und des siebten Jupitermondes. Beide Entdeckungen wurden auf fotografischem Wege gewonnen. Melotte fügte im Jahre 1908 in Greenwich den achten Jupitermond hinzu. Der Entdecker der vier nächsten Monde hiess Nicholson. Trabant Nr. 9 entdeckte er 1914 wieder auf der Lick-Sternwarte, 1938 folgten die Entdeckunben der Monde 10 und 11 mit Hilfe des 2,5 m-Spiegels des Mount Wilson-Observatoriums. Mit demselgen Instrument machte er 1951 den zwölften Jupitermond dingfest. Dieser zwölfte Mond erreicht im Maximum (anlässlich einer mittleren Jupiteropposition) lediglich eine Helligkeit von 19,4 Grössenklassen. Mit dem 2,5 m-Spiegel waren also kaum noch lichtschwächere Monde ausfindig zu machen. Erst im Jahre 1974 fügte Kowal vom Caltech mit Hilfe des lichtstarken 122 cm-Schmidt-Spiegels der Mount Palomar-Stern-

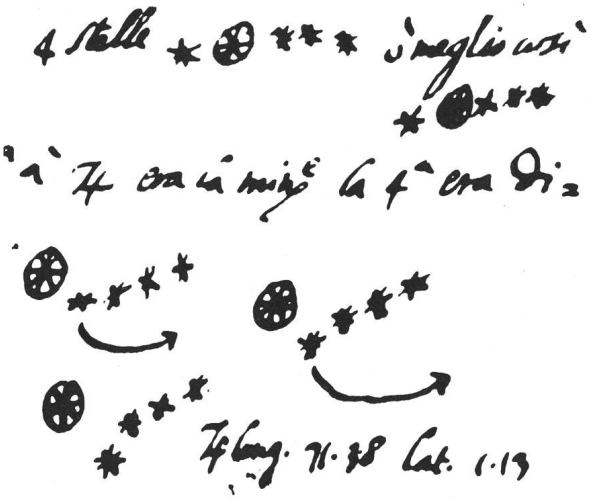

Fig. 1: Aus dem Beobachtungsjournal von Galileo Galilei: aufgezeichnet sind die Positionen der vier hellen Jupitermonde nach Beobachtungen vom 13. Januar bis 15. Januar 1610.

Tabelle 1

Mond	Name	Entdecker (Jahr)
I	Io	Galilei (1610)
II	Europa	Galilei (1610)
III	Ganymed	Galilei (1610)
IV	Callisto	Galilei (1610)
V	Amalthea	Barnard (1892)
VI	Himalia	Perrine (1904)
VII	Elara	Perrine (1905)
VIII	Pasiphae	Melotte (1908)
IX	Sinope	Nicholson (1914)
X	Lysithea	Nicholson (1938)
XI	Carme	Nicholson (1938)
XII	Ananke	Nicholson (1951)
XIII	Leda	Kowal (1974)
XIV		Kowal (1975)

Tabelle 2	Galilei-Gruppe	Himalia-Gruppe	Pasiphae-Gruppe
Monde	I, II, III, IV, V	VI, VII, X, XIII	VIII, IX, XI, XII
Jupiterentfernung in Jupiterradien	2–26	160–165	290–336
Siderische Umlaufszeit	$0^d,5$ – $16^d,7$	$238^d,7$– $260^d,0$	625^d – 755^d
Durchmesser in km	I : 3320 II: 3100 III: 5270 IV: 5000 V: 150	18–60	11–22
Bahnneigung gegenüber Jupiteraequator	3°	28°	147–164°
Bahn-Exzentrizität	0,01	0,13–0,21	0,17–0,38
Scheinbare Jupiterentfernung bei mittlerer Opposition	I: 2′ 18″ II: 3′ 40″ III: 5′ 51″ IV: 10′ 18″ V: 0′ 59″	1° 3′	2° 5′

warte der Entdeckungsserie einen weiteren, noch lichtschwächeren Jupitermond bei. Dieser dreizehnte Jupitermond erreicht im Maximum nur noch eine Helligkeit von 21,0 Grössenklassen. Mit demselben SCHMIDT-Spiegel gelang KOWAL ein Jahr später die Entdeckung eines vierzehnten und vorläufig «jüngsten» Jupitertrabanten. Ob damit die Entdeckungsgeschichte der Jupitermonde abgeschlossen ist, bleibt eine offene Frage.

Untersucht man die Bahnelemente der bis heute bekannten 14 Jupitermonde, so lassen sich diese unschwer in drei Gruppen einteilen (vergleiche Tabelle 2).

Galilei-Gruppe

Ausser dem Mond Amalthea wurden die Monde dieser Gruppe bereits von GALILEI entdeckt. Alle Monde dieser Gruppe umkreisen den Jupiter in relativ nahen und beinahe kreisförmigen Bahnen. Ihre Bahnebenen liegen ungefähr in der Äquatorebene des Jupiter.

Über den innersten Trabanten — Amalthea (V) — sind wegen seiner geringen Grösse nur wenig Einzelheiten bekannt. Berühmt und gut bekannt sind die restlichen vier Mitglieder dieser innersten Jupiter-Mondgruppe. Sie gehören zusammen mit unserem Erdmond und dem Saturnmond Titan zu den grössten und massenreichsten Trabanten im Sonnensystem. Ihre scheinbaren Durchmesser betragen bei mittlerer Jupiteropposition zwischen 0.87′ (Europa) und 1.52′ (Ganymede). Mit entsprechenden Instrumenten lassen sich ihre Durchmesser also direkt bestimmen. Ab 30 cm Öffnung kann man sogar Oberflächenschattierungen auf diesen Monden erkennen (siehe Fig. 2). Aus den gegenseitigen Bahnstörungen lassen sich ihre Massen bestimmen. Zusammen mit den visuellen Helligkeiten kann man mit diesen Daten die Dichten und die Rückstrahlvermögen berechnen, was wiederum Rückschlüsse auf die innere Struktur und die Oberflächenbeschaffenheit dieser Monde erlaubt.

Das reizvolle Spiel der Verfinsterungen, Durchgänge, Schattenvorübergänge und Bedeckungen dieser vier Jupitermonde dürfte wohl jedem Amateur-Astronomen aus eigener Anschauung bestens bekannt sein. Weniger bekannt ist wohl das von P. S. LAPLACE begründete Bewegungsgesetz, das die mittleren täglichen Bewegungen (bezüglich Jupiter) der ersten drei GALILEI-Monde miteinander verknüpft. Die mittleren täglichen Bewegungen m_i lassen sich aus den siderischen Umlaufzeiten ableiten. Man findet

für: Io: $m_1 = 203{,}489°$
Europa: $m_2 = 101{,}375°$
Ganymede: $m_3 = 50{,}318°$

Mit Hilfe dieser Werte kann man leicht das erste von LAPLACE aufgestellte Bewegungsgesetz für diese drei Monde verifizieren. Es lautet:

$$m_1 - 3.m_2 + 2.m_3 = 0$$

Von besonderer Bedeutung für den Jupitermond-Beobachter ist aber das zweite LAPLACE'sche Gesetz. Sind l_1, l_2 und l_3 die vom Jupiter aus gerechneten mittleren Längen der drei ersten GALILEI-Monde, dann gilt die Beziehung:

$$l_1 - 3.l_2 + 2.l_3 = 180°$$

Wegen der geringen Bahnexzentrizitäten weichen die wahren Längen nur unwesentlich von den mittleren Längen der drei betrachteten Monde ab. Eine gleichzeitige Verfinsterung der drei Monde ist nach dem LAPLACE'schen Gesetz somit nicht möglich. Da-

Fig. 2: Abstandsverhältnisse der Jupitermonde:
Der Planet Jupiter befindet sich im Ursprung des Achsensystems. In unmittelbarer Planetenumgebung sind die Mitglieder der Galilei-Gruppe (V, I, II, III, IV von innen nach aussen). Die mittlere Gruppe (Himalia-Gruppe) besteht von innen nach aussen aus den Monden XIII, VI, VII und X. Zur Pasiphae-Gruppe gehören mit wachsendem Jupiterabstand die Monde XII, XI VIII und IX.

zu müssten die Monde gleichzeitig gleiche Längen haben. Setzt man aber auf der linken Seite gleiche Längen ein, dann ergibt die rechte Seite 0°, was im Widerspruch zum Gesetz steht. Aus denselben Überlegungen können die drei Monde auch nie gleichzeitig in grösster westlicher oder grösster östlicher Elongation stehen.

Betrachtet man die Umlaufszeiten aller vier GALILEI-Monde, so stellt man fest, dass diese nach 9197,53 Tagen (ca. 25 Jahre) mit grosser Genauigkeit wieder dieselben gegenseitigen Stellungen einnehmen. Und da 9174 Tage gerade 23 synodischen Jupiterumläufen entsprechen, steht von der Erde aus gesehen nach dieser Zeit Jupiter mit seinen Monden ebenfalls wieder in derselben Richtung.

In jüngster Zeit konnten besonders im astrophysikalischen Bereich neue Erkenntnisse über die GALILEI-Monde gewonnen werden. Bereits um die Jahrhundertwende entdeckte BARNARD, dass die Polkappen von Io eine rötliche Färbung aufweisen. Diese Beobachtungen wurden kürzlich von MINTON (University of Arizona) mit detaillierten Farbaufnahmen von Io bestätigt.

Io taucht als Mitglied der GALILEI-Gruppe häufig in den Jupiterschatten ein. 1960 stellten BINDER und CRUIKSHANK fest, dass seine Helligkeit unmittelbar nach dem Hervortreten aus dem Jupiterschatten für ungefähr 15 Minuten grösser ist als sonst auf seiner Bahn. Ursprünglich erklärte man diesen Helligkeitsanstieg durch Vereisung der Oberfläche von Io während seiner Verfinsterung. Die Eisbildung erfolgt im Schatten von Jupiter. Beim Wiederauftauchen aus dem Schatten bewirkt die Eisschicht (bis zu deren Abschmelzen) ein vergrössertes Rückstrahlvermögen. Genaue Messungen der letzten Jahre haben jedoch ergeben, dass dieser Helligkeitsanstieg lediglich in 50% der Fälle eintritt. Als Ursache vermutet man heute nicht mehr eine Eisbildung, sondern eine noch ungeklärte Farbänderung der Oberfläche von Io.

Den Radio-Astronomen ist Jupiter seit langem durch seine kurzzeitigen Strahlungsausbrüche im Meter-Gebiet bekannt. 1960 stellte BIGG fest, dass eine eindeutige Beziehung zwischen diesen kurzzeitigen Strahlungsausbrüchen und der relativen Stellung von Io bezüglich Jupiter existiert. Offensichtlich kann Io den Strahlungsgürtel von Jupiter entscheidend beeinflussen. 1973 leitete die Raumsonde Pioneer 10 eine neue Phase der Erforschung der Jupitertrabanten ein. KLIORE und Mitarbeiter von Jet Propulsion Lab entdeckten mit Hilfe dieser Raumsonde in etwa 100 km Höhe über der Oberfläche von Io eine Zone mit jonisierten Teilchen. Mit dieser Entdeckung wur-

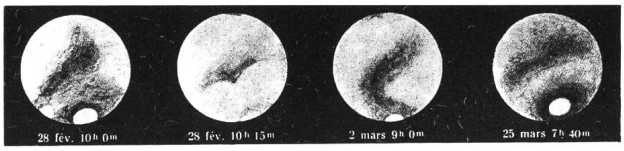

Fig. 3: Der Mond Ganymede nach Zeichnungen von J. T. SOLA.

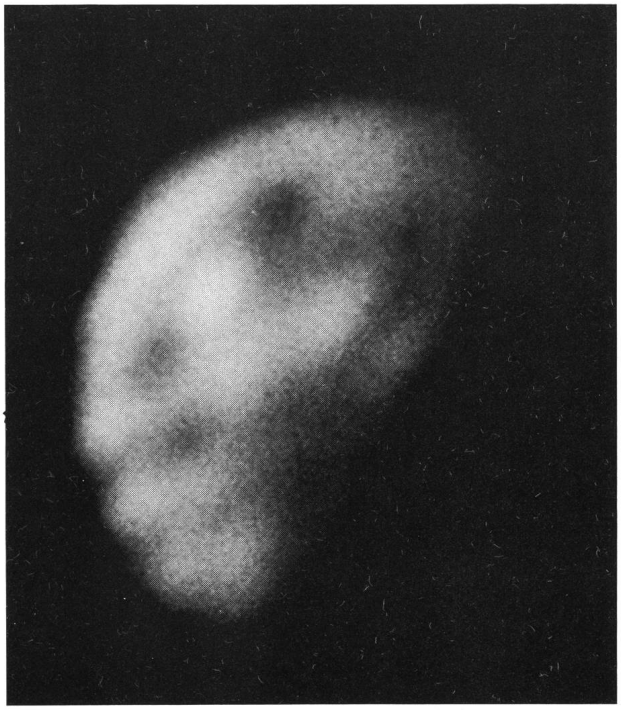

Fig. 4: Der Mond Io aufgenommen im Dezember 1974 durch Pioneer 11. NASA-Foto 76-H-406.

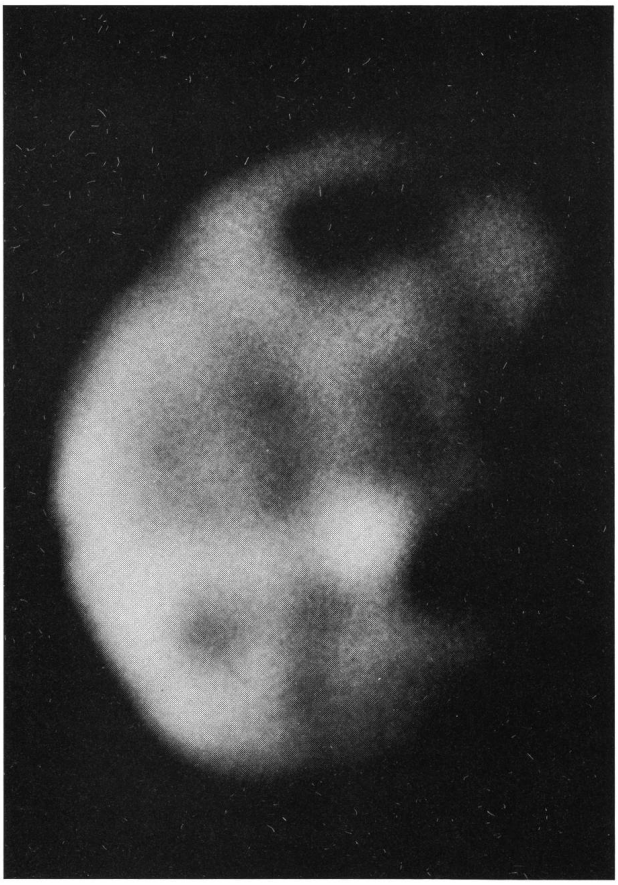

Fig. 5: Der grösste Jupitermond Ganymede aufgenommen im Dezember 1973 durch Pioneer 10. NASA-Foto 76-H-407.

Fig. 6: Pioneer 11-Aufnahme von Callisto (Dezember 1974). NASA-Foto 76-H-402.

de erstmals die Existenz einer Atmosphäre auf Io direkt nachgewiesen. Berechnungen ergaben, dass diese Atmosphäre allerdings extrem dünn ist. Ihr Druck beträgt an der Oberfläche von Io lediglich ein Milliardstel des Druckes der Erdatmosphäre auf Meereshöhe.

Über die drei verbleibenden Monde der GALILEI-Gruppe sind (zumindest vorläufig) keine so spektakulären Erkenntnisse bekannt. Europa ist mit einem Durchmesser von 3100 km etwas kleiner als Io. Ganymede (5270 km) und Callisto (5000 km) gehören zu den grössten Trabanten in unserem Sonnensystem. Ihre Durchmesser übertreffen selbst denjenigen des Merkur um mehrere hundert Kilometer. Callisto unterscheidet sich von den restlichen Mitglieder der GALILEI-Gruppe durch seine dunkle Oberfläche. Offensichtlich bestehen in den Oberflächenzusammensetzungen dieser Monde wesentliche Unterschiede.

Himalia-Gruppe

Zu dieser mittleren Trabantengruppe gehören vier sehr kleine Monde. Ihre Durchmesser liegen zwischen 18 km und 60 km. In dieser Gruppe befindet sich auch der von KOWAL 1974 entdeckte 13. Jupitermond. Die kleinen Durchmesser dieser Monde erlaubten bis heute keine Detailuntersuchungen ihrer Oberflächen.

Pasiphae-Gruppe

Diese äusserste Mondgruppe besteht ebenfalls aus sehr kleinen Trabanten. Ihre Durchmesser liegen zwischen 16 km und 22 km. Im Unterschied zu den Monden der Galilei- und der Himalia-Gruppe bewegen sich die Mitglieder dieser letzten Gruppe rückläufig um den Planeten. Die recht seltenen Bahnelemente lassen vermuten, dass die Pasiphae-Gruppe aus eingefangenen Planetoiden besteht.

Literatur:
Scientific American 1975, September, Seite 143.
I.A.U. Circ. No. 2968 (1976).

Vorschlag für ein Astro-Arbeitsprogramm:

Die Galilei-Monde und das dritte KEPLER*'sche Gesetz*

In diesem Abschnitt soll dem Jupitermond-Beobachter eine Anregung gegeben werden, wie mit Hilfe der Galilei-Monde das dritte KEPLER'sche Gesetz «entdeckt» werden kann. Für diese «Neuentdeckung» eignen sich die Galilei-Monde vorzüglich. Einmal sind sie visuell oder auch fotografisch mit recht einfachen Instrumenten gut erreichbar. Dann weisen sie, im Gegensatz zu den die Sonne umlaufenden Planeten, sehr kurze Umlaufszeiten auf. Dies bedeutet, dass die Beobachtungsserie nicht wesentlich länger als einen Monat dauern muss. Schliesslich, und dies ist besonders wichtig, lassen sich die Bahnformen der Galilei-Monde recht genau durch Kreise beschreiben.

Welche Aussage macht das dritte KEPLER*gesetz:*

Nach 1600 arbeitete JOHANNES KEPLER intensiv an den Bewegungen der Planeten. Seine auf Beobachtungen von TYCHO BRAHE fussenden Resultate konnte er in drei Gesetzen zusammenfassen. Das erste publizierte er 1609. Es legt die Bahnform eines umlaufenden Himmelskörpers (als Ellipse) und den Ort des Zentralkörpers (im Brennpunkt) fest. Das zweite Gesetz erlaubt, die variable Geschwindigkeit eines umlaufenden Körpers in jedem Punkt seiner Bahn zu bestimmen. Das 1618 veröffentlichte dritte Gesetz stellt eine Beziehung zwischen der grossen Ellipsenhalbachse und der Umlaufszeit eines Planeten oder eines Mondes dar. Es lautet:

Die Quadrate der Umlaufszeiten verhalten sich wie die Kuben der grossen Halbachsen.
Oder als Formel:

$$a^3/T^2 = \text{konstant.}$$

T bedeutet die Umlaufszeit eines Mondes oder eines Planeten. a steht für die grosse Halbachse. Bei kreisförmigen Bahnen entspricht die grosse Halbachse gerade dem Kreisradius. Das Gesetz sagt also aus, dass das angegebene Verhältnis für alle Monde. die einen gemeinsamen Planeten umkreisen, denselben Wert annimmt. Diese Aussage lässt sich mit Hilfe der Bewegungen der Galilei-Monde leicht überprüfen. Es spielt nämlich keine Rolle, in welchen Einheiten die Umlaufszeit T oder der Radius a der Umlaufsbahn gemessen wird.

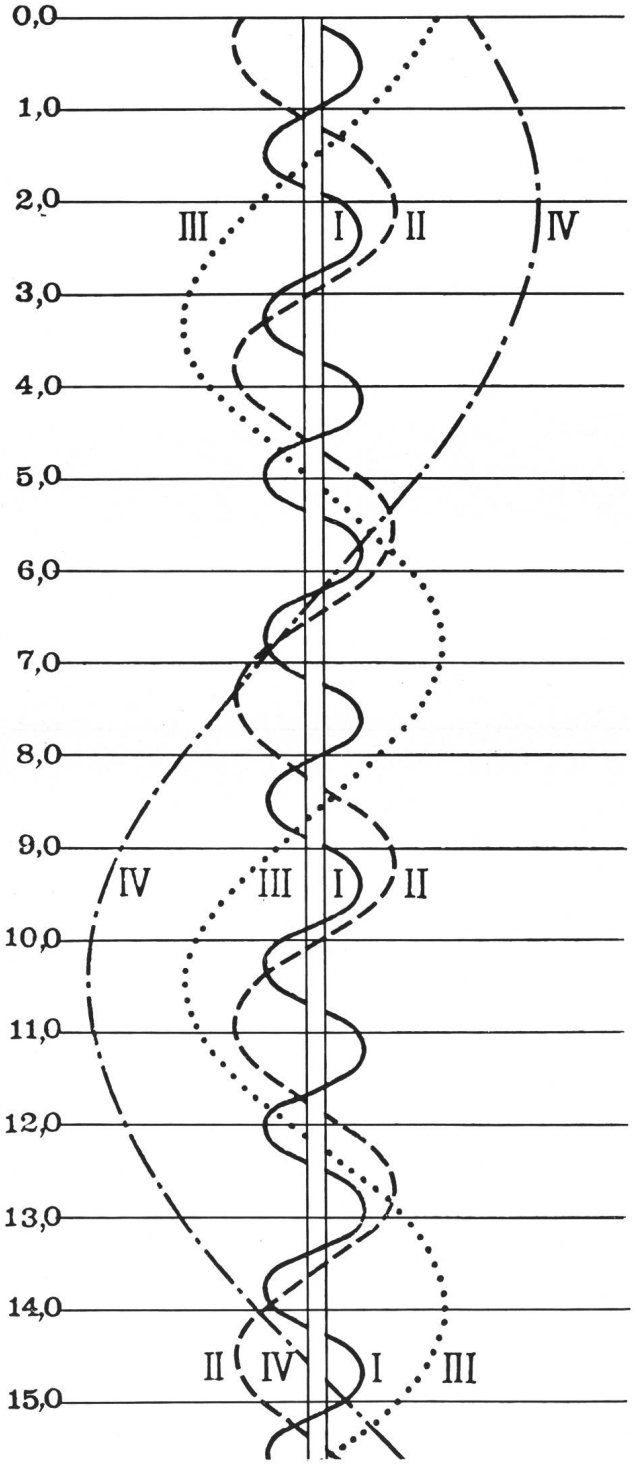

Fig. 7: Schlaufen der Galilei-Monde. Die Zeitskala am linken Bildrand ist in Tagen angegeben.

Zur Bestimmung von T und a:

Zu einem bestimmten Zeitpunkt muss möglichst genau die relative Lage der Monde bezüglich Jupiter festgestellt werden. Bei visuellen Beobachtungen verwendet man mit Vorteil vorbereitete Zeichnungen. Auf diesen Zeichnungen ist Jupiter im Zentrum als Kreis bereits eingezeichnet, ebenso die Jupiter-Äquatorebene versehen mit Marken in Abständen von einem Jupiterdurchmesser. Bei der Vorbereitung dieser Zeichnung ist zu beachten, dass sich der vierte Galilei-Mond im Maximum bis zu 13 Jupiterdurchmessern vom Zentrum des Planeten entfernt kann. Am Fernrohr werden die Abstände der Monde in Jupiterdurchmessern abgeschätzt und in eine vorbereitete Zeichnung eingetragen. Das Abschätzen kann umgangen werden, wenn die Lagebestimmung der Monde auf fotografischem Wege erfolgt. Für Instrumente mit Brennweiten von einem Meter oder mehr eignet sich dieses Verfahren sehr gut. Es ist dann aber sehr genau darauf zu achten, dass die Brennweite der Aufnahmeoptik und die Skala einer nachträglichen Vergrösserung des Negativs für alle Aufnahmen gleich beibehalten wird.

Solche Positionsbestimmungen sind in Intervallen von einigen Stunden über mehrere Nächte zu wiederholen. Diese werden dann untereinander so angeordnet, dass ihr Abstand gerade dem Zeitunterschied der Positionsbestimmung entspricht. Es lassen sich dann unschwer die in Fig. 7 wiedergegebenen bekannten Jupitermond-Schlaufen einzeichnen. Aus diesen Schlaufen lassen sich sehr leicht die Umlaufszeiten (in Stunden oder Tagen) und die Bahnradien (in Millimetern oder in Jupiterdurchmessern) herauslesen. Die Genauigkeit kann durch Mittelwertbildung der Messwerte aus mehreren Schlaufen erhöht werden. Mit den so gemessenen Daten für T und a kann schliesslich kontrolliert werden, ob die rechte Seite im dritten KEPLERgesetz wirklich für alle Monde denselben konstanten Wert annimmt.

Anmerkung: Es würde die ORION-Redaktion ausserordentlich freuen, wenn sie in einer der nächsten Ausgaben eine «Kontrolle des dritten KEPLER'schen Gesetzes mit Hilfe der Galilei-Monde» veröffentlichen könnte. Jede Einsendung wird mit einer Astro-Aufnahme honoriert. P. GERBER

Le problème cosmologique et ses hypothèses V

J. DUBOIS

Confrontation avec l'observation (première partie)

Introduction

Il existe actuellement un fait d'observation qui peut s'expliquer assez bien par la variation de la «constante» G de la gravitation universelle au cours du temps. Par ailleurs une telle variation a des implications importantes en astrophysique, géophysique et certaines d'entre elles peuvent être comparées avec l'observation.

G étant constant dans la théorie d'EINSTEIN, sa variation éventuelle et quelques-unes de ses conséquences seront examinées dans le cadre des théories de HOYLE et NARLIKAR et de DIRAC.

Etant donné que la théorie de DIRAC introduit aussi l'idée de la variation de la masse d'une étoile (indépendamment de son évolution) ou plus généralement de tout corps macroscopique, je présenterai simultanément les conséquences de ces deux catégories de variation.

Mais avant d'aborder la première observation, il y a lieu de rappeler quelques résultats théoriques utiles pour la suite.

Dans tout ce qui suit, le temps utilisé est le temps atomique, c'est-à-dire celui mesuré par une horloge atomique.

a) Théorie de HOYLE et NARLIKAR (voir ORION No. 157 et 158).

Dans cette théorie on a la possibilité de choisir l'espace-temps le mieux adapté aux phénomènes que l'on veut examiner, ces espaces-temps étant liés entre eux par une transformation conforme. On peut aussi dire que dans chacun d'eux on a une image différente, mais physiquement équivalente de l'univers.

Dans l'un d'eux, la «constante» G décroît comme 1/t, tandis que la masse des particules demeure constante. L'intervalle ds de cet espace-temps est:

$$ds^2 = dt^2 - 2t(dx^2 + dy^2 + dz^2) \qquad (85)$$

et la fonction paramètre d'échelle R(t) correspondante est:

$$R(t) = \sqrt{2t} \qquad (86)$$

Nous savons qu'en mécanique classique, le moment cinétique d'un corps soumis à un mouvement central (par exemple celui de la terre autour du soleil à la condition de négliger les autres influences) est conservé ou si l'on préfère ne varie pas au cours du temps. Ce fait est aussi connu sous le nom de 2e loi de KEPLER ou loi des aires. Dans la théorie de HOYLE et NARLIKAR, le moment cinétique est de dimension L^o. Or toute grandeur de dimension L^o n'est pas modifiée par une transformation conforme. Il en résulte que le moment cinétique est aussi conservé dans la théorie de HOYLE et NARLIKAR, et que la distance r terre-soleil varie proportionnellement à t, ou si l'on préfère, que le demi-grand axe a de l'orbite elliptique terrestre augmente comme t. (voir appendice no. 1).

En résumé nous avons:

$$G \sim t^{-1} \quad M = \text{constante} \quad r \sim t \qquad (87)$$